

场地受限条件简支钢箱梁不等跨顶推对策及受力分析

左雁, 彭云涌, 万小龙

(中建五局土木工程有限公司, 湖南长沙 410004)

摘要:长沙县板仓路 1×38 m简支钢箱梁(扩建)上跨长永高速公路,因场地受限,采用不等跨顶推施工。为掌握不等跨顶推特点,运用Midas/Civil进行受力分析,得出结论及顶推对策如下:① 支点最大反力、导梁最大变形均出现在最大悬臂工况,可为临时墩设计提供依据;② 将38 m跨拆分为(6.5+24.5+6.5) m,最大支反力将转移至永久桥台临近的临时墩6[#]、临时墩7[#],钢箱梁最大应力工况将推迟到成桥时刻,解决永久0[#]、1[#]桥台无法布置大吨位顶推设备的限制,以利顶推和落梁;③ 受超不等跨(6.5/24.5=0.265)影响,永久0[#]、1[#]桥台处多次脱空,钢导梁上翘,Midas/Civil可考虑脱空引起的反力重分布,供临时墩设计和钢箱梁局部加劲设计提供依据。

关键词:简支钢箱梁;不等跨顶推;受力分析;施工对策

国内外关于顶推法施工钢箱梁结构及其局部应力分析已日趋成熟。随着城市路网的完善,在跨越既有路线的改扩建工程中,施工与设计均将受到诸多限制,常规边中跨比控制在0.67~0.78的顶推方法难以满足线下、线上既有交通运营要求。该文以长沙县板仓路跨线桥(扩建)—— 1×38 m简支钢箱梁不等跨顶推施工为研究对象,开展对场地受限条件下不等跨钢箱梁顶推受力分析,以供类似施工参考。

1 施工概况

依托工程采用钢箱梁,梁高(内高)1.6 m,单箱四室断面,梁宽15.99 m,悬臂1.5 m,底宽12.99 m,顶板厚16 mm,腹板厚16、20 mm,底板(跨中)厚24 mm,在支点附近减薄至20 mm,顶板加劲肋采用U肋,底板采用一字球扁钢加劲板,横隔板间距2.5 m,厚12 mm(支点处24 mm)。

顶推施工过程中不得阻断下行长永高速公路和接线处板仓路、东升路的通行,不得在下行长永高速公路中央分隔带搭设临时墩,无法采用支架法、也无法吊装,故拟定如下方案:

(1) 受接线道路承载力及运输、起吊条件限制, 1×38 m钢箱梁纵向分为钢梁-A(长度9.50 m)、钢梁-B(长度19.0 m)、钢梁-C(长度9.50 m)3段拼装,每一节段横向又分为3个节段,最大运输重量为74 t。

(2) 拼装场地位于板仓路、东升路的填土路基侧,受既有十字路口净宽、填土承载力(≤ 100 kPa)限制,无法设置大吨位顶推设备和独立基础。为此,在钢箱梁分段长度基础上,进一步加密拼装场临时墩作为胎架。临时墩1~临时墩5~0[#]桥台支点间距为 5×7.0 m等跨布置,临时墩1~临时墩5共计5个横向设置2个支点。

(3) 滑道1、滑道2布置在箱梁竖向加劲肋处,并在箱梁底板位置布置加劲板,加劲板上底宽200 mm,下底宽300 mm,高600 mm,厚度 $t=16$ mm,纵向间距为375 mm,经计算分析能满足局部受力。图1所示永久支座为3个,临时滑道为2个,台帽宽度仅1.2 m,滑道高程高于台背顶,无法直接在支座垫石顶面布置顶推设备。故在长永高速公路上布置临时墩6,安放步履式千斤顶。0[#]桥台~临时墩6间距为6.5 m。

(4) 拼装场地(29 m)受限,钢箱梁(38 m)、导梁(16.5 m)无法一次拼装到位。为此,钢梁-A与钢梁-B先焊接并安装钢导梁,利用临时墩6进行顶推,待空出钢梁-C拼装位置后,暂停顶推并拼接钢梁-C,之后继续顶推直至成桥,总的顶推距离为52.0 m。

(5) 为便于落梁,在长永高速公路另一侧布置临时墩7,临时墩7、临时墩6关于中央分隔带对称布置,临时墩6~临时墩7间跨度为24.5 m,与相邻跨之比为 $6.5/24.5=0.265$,为极小边主跨比。临时墩6~临时墩7共计2个横向设置2个支点。

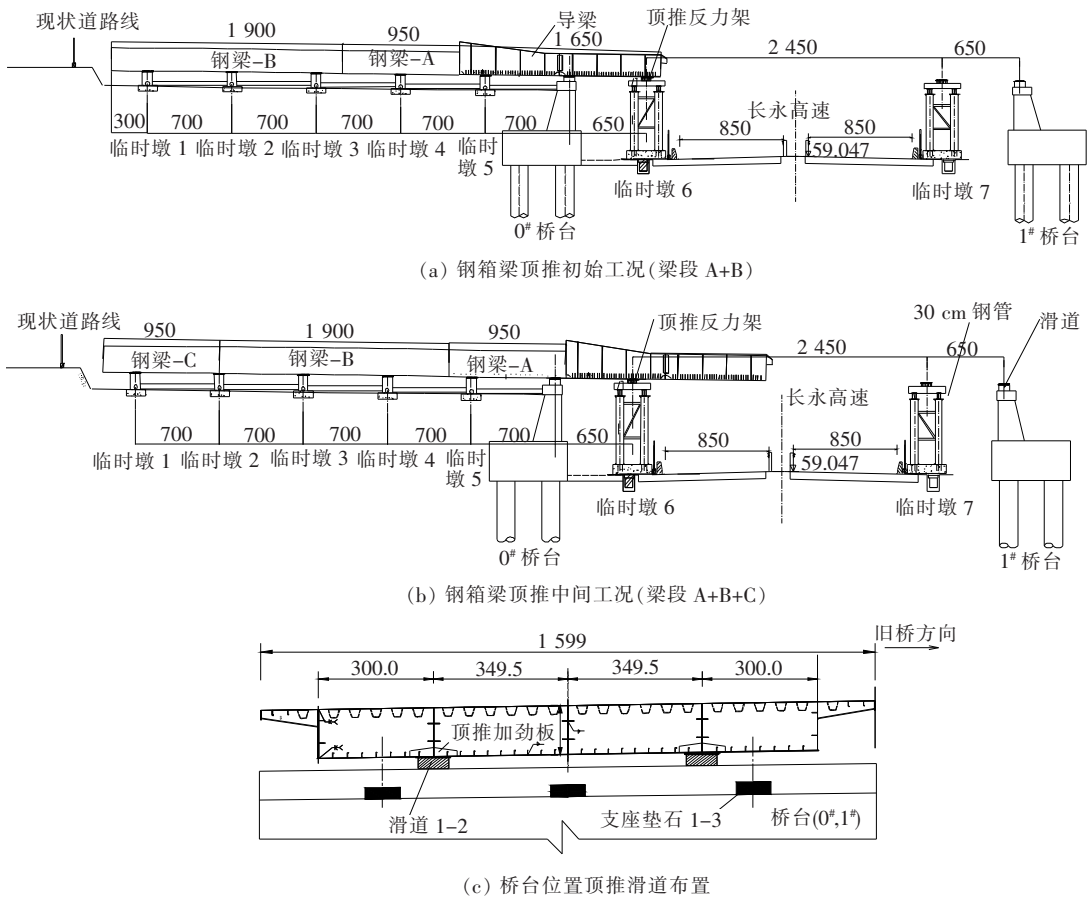


图 1 钢箱梁顶推施工布置示意图(单位:cm)

(6) 为节省成本,导梁利用附近工程原有钢导梁,导梁根部高度比钢箱梁高 0.8 m,导梁为工字形钢板梁结构,工字形横向中心距 6.99 m,导梁长度 16.5 m,导梁长与顶推主跨比为 $16.5/24.5=0.673$ 。导梁纵向分为两段,均为 8.25 m(梁高 2.4 m 渐变至 1.6 m 变截面段和梁高 1.6 m 等截面段)。工字钢上、下翼缘宽度 600 mm,厚度 24 mm;腹板厚 20 mm,设置有 12 mm 横向加劲肋和 16 mm 纵向加劲肋,导梁最大截面处与主梁刚度比为 $I_n/I=0.04831/0.4644=0.104$ 。

基于上述思路,该工程于 2020 年 6 月 12 日 07:00 开始顶推,截至 16:40 共计顶推长度 17 m,现场轴线及标高经复核无误后,在钢箱梁上预压 8 块路基箱(1.5 t/块),防止倾覆,并完成当日顶推;2020 年 6 月 13 日 07:30 继续完成剩余钢梁顶推,至 15:30 顺利落梁。

2 顶推有限元分析

2.1 整体顶推建模

1×38 m 钢箱梁上跨长永高速公路顶推施工分析

采用 Midas/Civil 2019 建立空间杆系模型,均采用空间梁单元。全桥共计单元 326 个,节点 296 个。建模时近似考虑为直线顶推。

边界条件:根据每个工况 N 排支点情况,设置 $N-1$ 排竖向约束(只受压弹簧),设置 1 排横向约束与纵向约束,其支撑刚度由临时墩模型反算。同时,为建模方便,钢箱梁下约束合并为 1 个(提取反力结果需除以 2),钢导梁下约束则分开为 2 个。

计算工况:每顶推 0.5 m 为一个工况、包含最大悬臂、钢导梁上下桥墩等。单个顶推工况按照一次落架。不同工况模拟,通过改变不同竖向约束(变形前)位置来实现。基于上述思路,建立顶推施工过程有限元模型如图 2 所示。

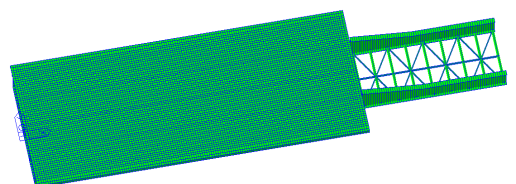


图 2 钢箱梁超不等跨顶推计算有限元模型

2.2 支点反力结果

从图1可知,临时墩1~临时墩5主要为拼装场地胎架支点,临时墩6、临时墩7提供顶推力及落梁支点。临时墩1~临时墩5支点反力计算结果如图3所示,临时墩2最大反力下各支点反力分布情况如图4所示。

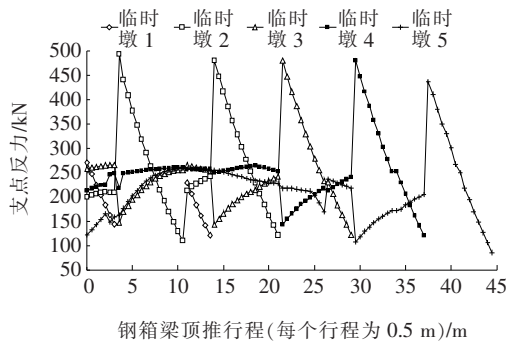


图3 钢箱梁顶推过程中临时墩1~临时墩5 支点反力变化

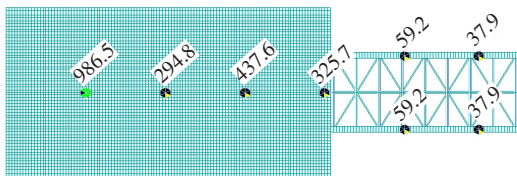


图4 临时墩2最大反力下支点反力分布情况(单位:kN)

从图3、4可知:

(1) 临时墩1最大反力 $541.5/2=270.75$ kN, 临时墩2最大反力 $986.5/2=493.25$ kN, 临时墩3最大反力 $960.4/2=480.2$ kN, 临时墩4最大反力 $960.5/2=480.25$ kN, 临时墩5最大反力值 $873.1/2=436.55$ kN。临时墩2~临时墩5支点最大反力接近,为最大悬臂工况。

(2) 临时墩1~5为 $2.5\text{ m}\times 2.5\text{ m}\times 0.5\text{ m}$ 基础+ $\phi 426\text{ mm}\times 10\text{ mm}$ 钢管支撑作为拼装胎架,反力标准值为500 kN,其应力 $p_k=500/(2.5\times 2.5)=80\text{ kPa}\leq 100\text{ kPa}$,钢管支撑应力: $\sigma=1.35N/A=1.35\times 500/13.069=51.6\text{ MPa}$,地基承载力及钢管支撑受力均满足要求。

(3) 临时墩6、临时墩7支点反力计算结果如图5所示。临时墩6最大反力工况下各支点反力分布情况如图6所示。

从图5、6可知:临时墩6最大反力 $1\ 671.5/2=835.75$ kN,为最大悬臂工况,悬臂长度为24.5 m。由于跨度比为 $6.5/24.5=0.265$ 倍,过大负弯矩产生上

翘,使相邻0#桥台支点脱空。根据反力结果,临时墩6、临时墩7采用 $\phi 630\text{ mm}\times 8\text{ mm}$ 四肢格构柱(格构柱中心距: $2\text{ m}\times 2\text{ m}$)+ $3.2\text{ m}\times 3.2\text{ m}\times 0.6\text{ m}$ 扩大基础,选用SLBLJ-450型步履式顶推4台。

0#桥台、1#桥台支点反力结果(落梁前)如图7所示。0#桥台最大反力工况下各支点反力分布情况如图8所示,顶推到位且拆除导梁后支点反力如图9所示,反力为零表示脱空。

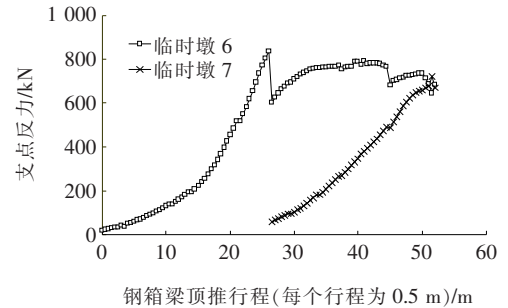


图5 钢箱梁顶推过程中临时墩6、临时墩7 支点反力变化示意图

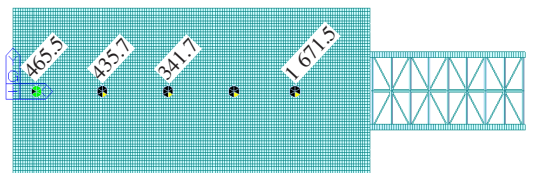


图6 临时墩6最大反力下支点反力分布情况(单位:kN)

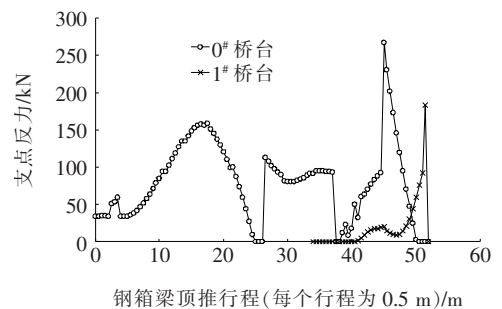


图7 钢箱梁顶推过程中0#桥台、1#桥台(落梁前) 支点反力变化示意图

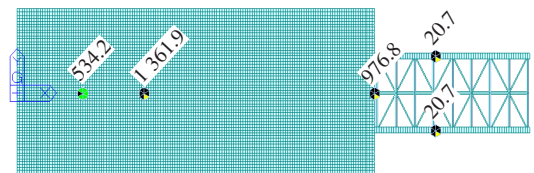


图8 0#桥台最大反力(落梁前)下支点反力分布情况(单位:kN)

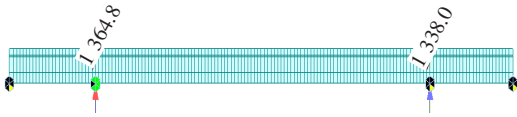
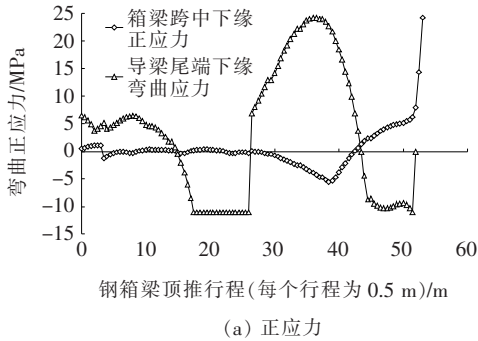
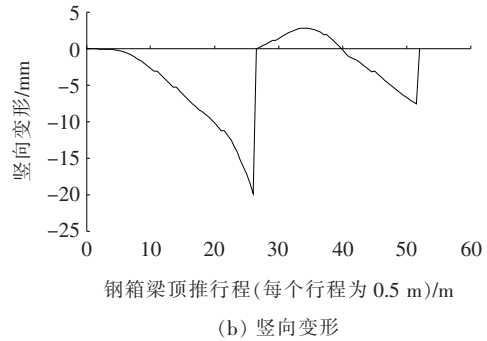


图 9 顶推就位拆除导梁后支点反力分布情况(单位:kN)

由图 7~9 可知:落梁前,0# 桥台最大反力为 $534.2/2=267.1$ kN,为 0# 桥台支点后最大悬臂工况,为临时墩 6 最大反力 835.75 kN 的 0.32 倍,将 38 m 跨拆为(6.5+24.5+6.5) m 不等跨,最大支反力将由



(a) 正应力



(b) 竖向变形

图 10 钢箱梁顶推过程中关键截面下缘正应力/竖向变形示意图

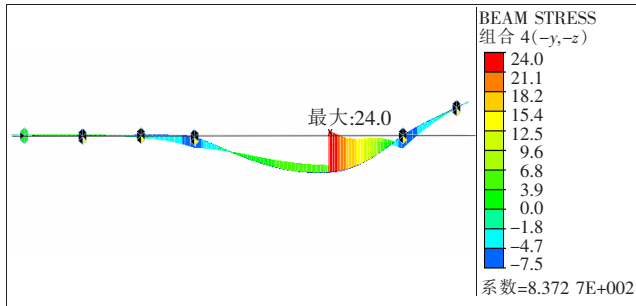


图 11 钢箱梁顶推过程中导梁末端下缘最大正应力(单位:MPa)

从图 10、11 可知:由于临时墩 6、临时墩 7 置于桥台内侧,原 1×38 m 钢箱梁转变为(6.5+24.5+6.5) m 不等跨钢箱梁,应力最大工况移到成桥时。导梁在最大悬臂工况达到最大下挠 19.8 mm。由于最大跨变形影响,导梁前端上翘而延迟在相邻小跨支点处落梁,使得随着顶推进行,导梁应力继续增大,而后随着顶推进行,应力逐步减少。

3 结论

对场地受限条件下不等跨钢箱梁顶推施工进行受

永久桥台转移至临时墩,0# 桥台靠近临时墩 6、1# 桥台靠近临时墩 7,过程中多次出现支点脱空。顶推到位拆除导梁后,钢梁自重全部由临时墩 6、7 承担。

2.3 应力及变形结果

应力及变形结果选取控制横断面:钢箱梁跨中截面、钢箱梁与导梁连接断面、导梁前端截面。顶推过程关键截面下缘弯曲正应力/竖向变形结果见图 10,导梁尾端下缘弯曲应力最大工况下的结构变形及受力情况见图 11,变形以上翘为正,下挠为负。

力分析,得到结论如下:

(1) 通过加密拼装场地临时墩,可减少其支点反力,解决场地地基承载能力不足;通过在永久桥台内侧布置小跨径临时墩,可将桥台处最大反力转移至附近临时墩,既方便落梁,又解决桥台处不便布置顶推设备的限制,Midas/Civil 论证该方案安全可靠。

(2) 受跨径拆分引起不等跨比 $6.5/24.5=0.265$ 极小,桥台处滑道会多次脱空,落梁前导梁持续上翘,但 Midas/Civil 可模拟反力重分布工况,为临时墩设计、钢箱梁局部加劲提供参考。

参考文献:

- [1] 赵人达,张双洋. 桥梁顶推法施工研究现状及发展趋势[J]. 中国公路学报,2016(2).
- [2] 马琼锋,刘海庆. 变高截面钢箱梁顶推技术研究[J]. 中外公路,2019(5).
- [3] 王石磊. 不等跨混凝土连续梁顶推施工关键参数合理取值[J]. 铁道建筑,2019(5).
- [4] 唐霁,李松林. 滑道高程偏差对 PC 顶推箱梁梁体受力行为影响研究[J]. 中外公路,2020(4).
- [5] 陈军刚,王学勇,周洲,等. 大跨钢-混凝土组合箱梁无支架顶推技术与控制计算[J]. 中外公路,2020(4).